

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10133159 A**

(43) Date of publication of application: 22 . 05 . 98

JCB41 U.S. PTO

09/738174



12/15/00

(51) Int. Cl

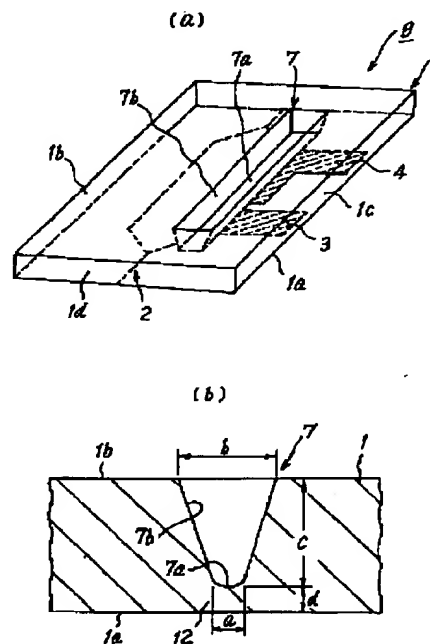
**G02F 1/035****G02B 6/12****G02B 6/13**(21) Application number: **09085579**(22) Date of filing: **21 . 03 . 97**(30) Priority: **06 . 09 . 96 JP 08255301**(71) Applicant: **NGK INSULATORS LTD**(72) Inventor:  
**MINAKATA MAKOTO  
IMAEDA MINORU  
YOSHINO TAKASHI  
KATO KENJI**(54) **OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE, PROGRESSIVE  
WAVEFORM OPTICAL MODULATOR AND  
PRODUCTION OF OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the operating speed of an optical waveguide device having a substrate, an optical waveguide formed on the one main surface side of the substrate and electrode parts.

**SOLUTION:** This optical waveguide device 8 has the substrate 1 having a pair of the main surfaces 1a, 1b facing each other, the optical waveguide 2 formed on the one main surface 1a side of the substrate 1 and the electrode parts 3, 4. The substrate 1 is provided with a thin part 12 of a relatively thin thickness part in at least the positions of the electrode parts 3, 4. More preferably, the thickness of the thin part 12 is  $\cong 5$  to  $\cong 50\mu\text{m}$  and the thickness of the thin part 12 exclusive of the thin part 12 is  $\cong 150\mu\text{m}$ . The thin part 12 is formable by subjecting the thin part 12 to abrasion working or grinding from the one main surface 1b side.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-133159

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 F 1/035

G 0 2 F 1/035

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

J

6/13

M

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-85579

(71) 出願人 000004064

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月21日

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番56号

(31) 優先権主張番号 特願平8-255301

(72) 発明者 皆方 誠

静岡県浜松市広沢1-23-3 合同宿舍3-31

(32) 優先日 平8(1996) 9月6日

(72) 発明者 今枝 美能留

愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 吉野 隆史

愛知県名古屋市中瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外9名)

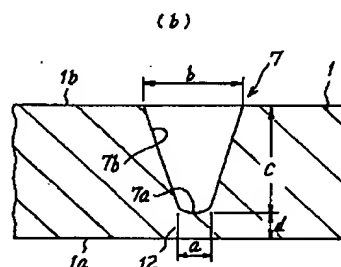
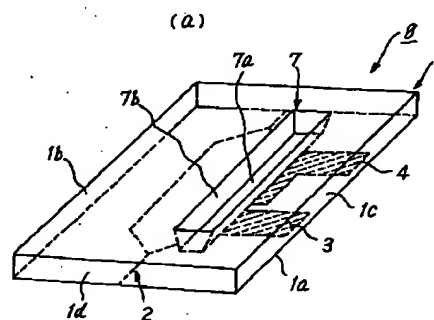
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路デバイス、進行波形光変調器および光導波路デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板と、基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させること

【解決手段】 光導波路デバイス8は、相対向する一对の主面1a、1bを備えている基板1と、基板1の一方の主面1a側に形成されている光導波路2と、電極部分3、4とを備えている。少なくとも電極部分3、4の位置において、基板1に、厚さが相対的に小さい肉薄部分12が設けられている。好ましくは、肉薄部分12の厚さが5 $\mu$ m以上、50 $\mu$ m以下であり、肉薄部分12以外の基板1の厚さが150 $\mu$ m以上である。基板1の他方の主面1b側からアブレーション加工や研削加工を施すことによって、肉薄部分12を形成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 相対向する一对の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスであって、少なくとも前記電極部分の位置において前記基板に厚さが相対的に小さい薄肉部分が設けられていることを特徴とする、光導波路デバイス。

【請求項 2】 前記基板および前記光導波路が、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶およびニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなる群より選ばれた一種以上の単結晶によって形成されていることを特徴とする、請求項 1 記載の光導波路デバイス。

【請求項 3】 前記肉薄部分の厚さが  $5\mu\text{m}$  以上、 $50\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする、請求項 1 または 2 記載の光導波路デバイス。

【請求項 4】 前記肉薄部分以外の前記基板の厚さが  $150\mu\text{m}$  以上、 $1000\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする、請求項 3 記載の光導波路デバイス。

【請求項 5】 前記基板の方位が X カットもしくは Y カット方位であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一つの記載の光導波路デバイス。

【請求項 6】 請求項 1 ~ 5 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイスを製造するのに際して、前記基板の他方の主面側から加工を施すことによって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、光導波路デバイスの製造方法。

【請求項 7】 アブレーション加工法によって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、請求項 6 記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項 8】 機械加工によって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、請求項 6 記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項 9】 請求項 1 ~ 5 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイスを備えている進行波形光変調器であって、前記基板が強誘電性の電気光学単結晶からなり、前記電極部分が、前記光導波路中を伝搬する光を変調するための電圧を印加するための一对の電極であり、かつ前記電極部分に対して電力を供給する電力供給装置を備えていることを特徴とする、進行波形光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の技術分野】 本発明は、進行波形光変調器等の光導波路デバイス、およびその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信分野においては、通信容量の飛躍的な増大が予測されており、このために光伝送系の容量の増大が必要である。現状では、 $1.6\text{GB}/\text{秒}$  の伝送速度が実用化されつつあるが、光ファイバの伝送可能な

周波数帯域 (約  $200\text{THz}$ ) と比較すると、高々  $10$  万分の一程度しか実用化されていない。伝送容量を飛躍的に増大させるのに重要なことは、光変調技術を進展させることである。

【0003】 ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ )、ガリウム砒素 ( $\text{GaAs}$ ) を光導波路に適用した進行波形光変調器は、優れた特性を備えており、高能率で高帯域化を達成できる可能性がある。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムは、強誘電体として非常に優れた材料であり、電気光学定数が大きく、短い光路で光の制御が可能であるという利点を有している。進行波形光変調器の変調速度を制限する要因としては、速度不整合、分散および電極損失などが挙げられる。このうち、速度不整合および分散については、主として進行波形光変調器の構造によって決定されるので、構造の解析および設計が重要である。一方、電極損失については、材料の導電率や表皮効果が重要である。

【0004】 速度不整合について、更に説明する。進行波形電極においては、光導波路中を進行する光と、電極中を伝搬する電気信号 (マイクロ波) との速度は、大きく異なっている。結晶中を伝搬する光の速度を  $V_0$  とし、マイクロ波の速度を  $V_m$  とする。例えば、プレーナ型電極を有する  $\text{LiNbO}_3$  光変調器の場合には、次のようになる。まず、 $\text{LiNbO}_3$  単結晶の屈折率は  $2.14$  であり、光導波路中を進行する光の速度は、これに反比例する。一方、マイクロ波の実効屈折率は、導体近傍の誘電率の平方根によって与えられる。 $\text{LiNbO}_3$  単結晶の誘電率は、一軸性であり、Z 軸方向が  $28$ 、X 軸方向、Y 軸方向が  $43$  である。従って、誘電率が  $1$  である空気の影響を考慮しても、従来の構造の  $\text{LiNbO}_3$  光変調器におけるマイクロ波の実効屈折率は約  $4$  となり、 $2.14$  の約  $1.9$  倍になる。従って、光波の速度はマイクロ波の速度よりも約  $1.9$  倍大きい。

【0005】 光変調帯域幅  $f_m$  ないし変調速度の上限は、光波とマイクロ波との速度差の逆数に比例する。即ち、 $f_m = 1 / (V_0 - V_m)$  が成立する。従って、電極損失を  $0$  と仮定すると、帯域幅  $f_m \times \text{電極長 } l = 9.2\text{GHz} \cdot \text{cm}$  が限界となる。実際に、電極長  $l = 2.5\text{mm}$  の光変調器において、 $f_m = 40\text{GHz}$  という値が報告されている。この動作速度の限界による影響は、電極が長いほど、顕著になる。従って、広帯域であって、高能率特性を有する光変調器の実現が強く望まれている。

【0006】 最近、光導波路型高速変調器や高速スイッチ等の光導波路デバイスにおいて、基板の上部の電極の形状を特殊な形状としたり、ガラス堆積層を形成したりすることによって、光導波路の内部を進行する光と、外部から印加される変調電圧との間での位相整合周波数を数十  $\text{GHz}$  へと高広帯域化することが提案されている

(「O plus E」1995年5月号第91頁～97頁、「LNを用いたEOデバイス」)。

【0007】この文献によれば、マイクロ波の速度は、細い信号電極とアース電極とを結ぶ電気力線が通る領域の誘電率の平均値によって決まるため、電極の厚さを大きくし、 $\text{SiO}_2$  からなるバッファ層の厚さを大きくすることによって、変調速度が向上するとされている。また、進行波電極は伝送経路であり、その特性インピーダンスを $50\Omega$ に近づける必要がある。これらの条件を満足する設計として、せり出し形、ひさし形、溝堀り形、シールド形といった種々の形態の電極およびバッファ層を形成することが提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような構造の進行波形光変調器においては、基板の上部にバッファ層および複雑な形状の電極を形成する必要があるため、これらの製造プロセスが複雑であり、工程数が多く、コストが高い。しかも、光導波路の部分と、複雑な形状のバッファ層および電極との間で、高い位置合わせの精度を保持する必要がある。更に、加工ダメージによる加工変質層の生成によって、光屈折率等の特性が変化し易く、光導波路デバイスのシュミレーションの結果から見て特性が劣化し、光吸収特性や消光比特性が不十分になる。

【0009】しかも、こうした困難な製造上の問題点を解決できたとしても、依然として $10\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 以上の高速変調は困難であった。

【0010】本発明の課題は、相対向する一対の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させることである。

【0011】更に、本発明の課題は、進行波形光変調器において、高速変調を可能にするのと共に、こうした進行波形光変調器を、少ない工程数で製造できるようにし、高精度の位置合わせを不要とし、加工ダメージによる加工変質層の生成も防止することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、相対向する一対の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスであって、少なくとも電極部分の位置において基板に厚さが相対的に小さい薄肉部分が設けられていることを特徴とする、光導波路デバイスに係るものである。

【0013】本発明者は、前記の課題を解決し、従来よりも高速で動作するような進行波形光変調器を提供するべく研究を続けてきたが、この過程で、強誘電性基板の裏面側から加工を施すことによって、少なくとも電極部分の位置において強誘電性基板に厚さが相対的に小さい

薄肉部分を設けることを想到した。そして、この進行波形光変調器を使用して各種のシュミレーションを実施し、かつ変調実験を行ったところ、 $15\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 以上の極めて高速での変調が可能であることを見だし、本発明に到達した。

【0014】しかも、このような強誘電性基板の裏面側に溝ないし凹部を形成することによって、肉薄部分を形成することが可能であり、この際、溝ないし凹部を、後述するように機械加工法またはアブレーション加工法によって、高速度でかつ高精度で形成できることを発見した。この結果、高い生産性をもって本発明の進行波形光変調器を製造できることを確認した。

【0015】この際、肉薄部分の厚さは、変調速度を一層高くする上で、 $50\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以下であることが一層好ましい。また、電極部分について一定の強度を保持するために、肉薄部分の厚さを $5\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

【0016】また、基板を取り扱う際に所定の強度が必要であり、基板が薄すぎると、破損やクラックによって不良品が発生し易くなる。この点、本発明によれば、電極部分の動作速度に影響する所定箇所のみに肉薄部分を設け、他の部分は十分な強度を付与できる厚さとすることができる。このため、基板の肉薄部分以外の部分の厚さは、 $150\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。また、 $1000\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【0017】以下、肉薄部分の厚さと最大の $3\text{dB}$ 帯域幅との関係を、表1に示す。表1から判るように、肉薄部分の厚さが $100\mu\text{m}$ 以上である場合には、 $3\text{dB}$ 帯域幅は $10\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $50\mu\text{m}$ である場合には $15\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $10\mu\text{m}$ で $30\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $5\mu\text{m}$ である場合には $100\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であって、変調速度が大幅に向上している。なお、肉薄部分の厚さが $3\mu\text{m}$ である場合には、クラックが発生した。

【0018】

【表1】

肉薄部分の厚さ ( $\mu\text{m}$ )	3	5	10	20	50	100	300
3dB帯域幅 $\text{GHz}\cdot\text{cm}$	—	100	30	20	15	10	10

【0019】こうした作用効果が得られた理由は、次のように考えられる。基板の裏面側に凹部ないし溝を形成して電極部分を肉薄にすることによって、電極部分を通過する変調波（マイクロ波）によって生成する電界は、基板の裏面側の空気（溝ないし凹部中）にかなりリークする。この結果、変調波の位相速度が上昇し、従来は困難であった領域での位相整合が可能になる。

【0020】進行波形光変調器においては、基板および光導波路を、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶およびニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなる群より選ばれた一種以上の単結晶によって形成することが好ましい。また、基板の方位は、Z、X、Yのいずれの方向でも良く、従来チタン拡散による光導波路とその上への電極形成の手段を、そのまま採用できる。

【0021】さらに、基板方位による電界補正係数を計算したところ結晶方位により大きな差が認められることを見いだした。即ち、表2に示すように、Xカットもし

くはYカット方位の基板を用いる場合は肉厚を薄くすることにより、このデバイスの半波長電圧即ち駆動電圧が低電圧化できるという長所がある。これに対し、Zカット方位の基板を使用すると肉厚が薄くなるのに伴い、半波長電圧が大きくなるのが短所となる。一般にZカット方位では、基板にDCドリフト対策のための酸化シリコンのパッファ層を形成する必要があるなどの問題点もあり、XカットもしくはYカット方位の基板を用いた場合の利点は大きい。

【0022】

【表2】

肉厚部分の厚さ ( $\mu\text{m}$ )		3	5	10	20	50	100	300
Xカット Yカット	電界補正係数	0.84	0.81	0.70	0.65	0.62	0.6	0.6
	半波長電圧 $V_{\pi}$ (V)	5.0	5.2	6.0	6.5	6.8	7.0	7.0
Zカット	電界補正係数	0.17	0.21	0.35	0.53	0.58	0.6	0.6
	半波長電圧 $V_{\pi}$ (V)	25	20	12	8	7.2	7.0	7.0

電極長さ=10mm、電極ギャップ=20 $\mu\text{m}$

【0023】前記したアブレーション加工には各種レーザーを使用できるが、エキシマレーザーが特に好ましい。アブレーション加工とは、エキシマレーザー光のような高エネルギーの光を加工対象の材質に照射することによって、光の当たった部分を瞬時に分解および気化させ、目的の形状を得る加工方法である。エキシマレーザーとは、波長が150~300nmである紫外領域のレーザー光であり、封入するガスの種類によって波長を選択できるという特徴がある。

【0024】本発明者は、強誘電性基板の裏面側を加工するのに際して、エキシマレーザーによるアブレーション加工技術や、液中アシストエッチング加工法等を検討した。この結果、エキシマレーザーを使用したアブレーション加工によると、極めて高い生産性で肉薄部分を形成できることを発見した。しかも、得られた肉薄部分および溝ないし凹部について、著しい光学特性の安定性と形状の安定性が得られた。

【0025】ここで、光学特性の安定性については、アブレーション加工では、光の照射された部分において、基板の材質が瞬時に分解および気化するので、光が直接には当たらない周辺部分には、熱・応力等の影響がほとんどなく、このため肉薄部分に沿って加工変質層がまったく生成しなかったものと考えられる。

【0026】アブレーション加工用の光源としては、基板の材質の吸収端よりも短波長側の光を使用する必要がある。しかし、通常は、350nm以下の波長を有する

光が好ましい。特に、酸化物単結晶からなる基板を加工する場合には、350nm以下の波長を有する光を使用することによって、基板に対して照射された光が、極表面層中で吸収されるために、表面層のみを分解し、基板の内部には加工ダメージを与えない。

【0027】このようなアブレーション加工に好適な波長領域は、加工対象となる結晶の光吸収端の位置によって変動するため、一律には規定できない。しかし、一般的に光導波路用途に使用される酸化物単結晶は、350nm以下の波長の領域に光吸収端を有している。このため、例えば波長512nmのアルゴンレーザーを使用した場合には、良好なアブレーション加工は不可能であった。この理由としては、基板の材質の吸収端よりも長波長の光であるために、光が酸化物単結晶の内部まで透過し、表面での吸収によるアブレーションが起こりにくいからである。

【0028】アブレーション加工用の光の波長は、300nm以下とすることが一層好ましい。ただし、実用的な観点からは、150nm以上とすることが好ましい。また、現実の光源としては、エキシマレーザー光源の他に、YAGの四次高調波(266nmのレーザー光)、エキシマランプ等が、現在のところ実用的である。

【0029】アブレーション加工用の光照射装置としては、いわゆる一括露光方式の装置と多重反射方式の装置とが知られている。多重反射方式の場合には、マスクの開孔率が小さい場合にも、光の利用率が高いという特徴

を有している。本発明においては、多重反射系によるアブレーション加工装置を使用することが一層好ましく、これによって、1インチ以上の寸法を有するウエハーの全体にわたって形成されたチップパターンについて、短時間で加工することができる。

【0030】ここで、エキシマレーザーについて更に説明する。エキシマレーザーは、紫外線のパルス繰り返し発振レーザーであり、ArF（波長193nm）、KrF（波長248nm）、XeCl（波長308nm）などの気体状の化合物が発振する紫外光を、光共振機により方向性を揃えて取り出したものである。エキシマレーザーは、紫外線の短波長レーザーであるため、物質を構成する原子や分子の結合をフォトンエネルギーで分解することができ、この化学的作用に基づいた応用が展開されてきている。

【0031】エキシマレーザーを用いたアブレーション加工は、例えば、ポリイミド等の微細加工のために孔を開けるのに使用され、良好な形状の微細な孔の形成が可能であることが報告されている。エキシマレーザーの応用技術に関する文献としては、「O plus E」1995年11月号、第64～108頁の特集「実用期に入ったエキシマレーザー」を挙げることができる。

【0032】本発明において、エキシマレーザーによってリッジ型光導波路を形成する方法としては、次の三つの態様を挙げることができる。

(1) スポットスキャン加工。基板の裏面（他方の主面）に対してレーザーの光軸が垂直となるように、スポット状の光束を照射し、光束を一定方向に進行させる。この結果、光束が通過した部分には溝が形成される。こうした方法であれば、加工後のエッチング加工によって、加工堆積層を除去できる。また、スポット状の光束の走査によって溝のパターンを形成しているので、任意の平面的形状を有する肉薄部分を形成できる。

【0033】(2) 一括転写加工。所定の転写パターンを有するマスクを予め通過した光束を、基板の主面に直接に照射し、光束を移動させることなく、所定の平面的パターンの溝を形成する。こうした方法であれば、マスクの平面的転写パターンを一括して基板上に転写しているので、加工能率が高く、かつ溝の平面的形状の再現性が極めて良好である。ただし、大面積のレーザービームを発振させる必要があり、かつレーザービームを透過させるためのマスクの作製精度を高くし、光学系の精度も高くする必要がある。

【0034】(3) スリットスキャン加工。レーザーを、細長いパターンのスリットを有するマスクに透過させ、細長い長方形の平面的形状を有するレーザー光束を得る。このスリット状の光束を、基板の裏面に照射し、移動させる。この方法によれば、加工によって形成された溝の底面の形状が、特に滑らかになる。ただし、この方法では、平面的に見て直線形状である溝しか形成でき

ない。

【0035】エキシマレーザーを使用したアブレーション加工法を使用した場合には、肉薄部分の裏面側の表面（溝の底面）を平坦にする必要があるが、実際には1μm以下の精度での加工が可能であった。また、肉薄部分の厚さも精密に制御する必要があるが、目標とする厚さに対して、0.5μm以下の精度での加工が可能であった。こうした高精度での加工を実現するためには、レーザー干渉計によって肉薄部分の厚さを測定しながら、アブレーション加工を行うことが好ましい。

【0036】また、高精度の機械加工によっても、前記した肉薄部分を形成することが可能であった。この場合には切削加工法が最も好ましい。また、機械加工装置としては、スライシング装置のZ方向の位置精度を向上させたものを好ましく使用できる。また、好ましくは、切削歯を備えた回転体を使用する。

【0037】図1(a)は、加工前の進行波形状光変調器1を示す斜視図であり、図1(b)は、変調器1を裏面1b側から見た斜視図である。変調器の主面1a側には、マッハツェンダー型の光導波路2が形成されている。光導波路2は、一対の側面1d間に延びるように、かつ側面1cに対して略平行な方向へと向かって延びるように、形成されている。光導波路2は、入出力部分2a、2f、分岐点2b、2eおよび一対の分岐部分2c、2dを備えている。一方の分岐部分2dを挟むように、一対の対向電極部分3、4が形成されており、各電極部分は、図示しない電源に接続されている。

【0038】次いで、図2(a)に示すように、レーザー5を他方の主面1b側の所定箇所に照射し、レーザーを矢印Aで示すように移動させて走査する。この結果、図2(b)に示すように溝7が形成されてくる。最終的には、図3(a)に示すように、基板1の他方の主面1b側に、電極部分3、4の領域内で、細長い溝7が形成される。この溝7は、例えば図3(b)に示すように、傾斜した側面7bと底面7aとを備えている。そして、溝7が存在する領域には肉薄部分12が形成される。

【0039】図2(a)、(b)においては、スポットスキャン方式によるアブレーション加工を図示したが、これと同様の溝7を、一括露光方式やスリットスキャン方式によって形成することができる。

【0040】次いで、レーザーによる露光方式を種々変更した実施態様について、図4(a)、(b)、(c)を参照しつつ、説明する。図4(a)は、焦点固定方式を採用した場合の溝の形態を示す。図2(a)においては、基板1の他方の主面1b側にレーザー5Aを照射し、一回の露光で溝8を形成し、これによって肉薄部分12Aを形成している。この際、溝8のうち、他方の主面1bに近い部分では焦点が合うために、主面1bに対して略垂直な面が形成される。しかし、溝8の底面に近づくとにつれて、焦点のズレが大きくなり、主面1bに

垂直な面に対して、溝 8 の側面 8 a が傾斜してくる。この方法は、焦点距離の長いレンズを使用した場合のみ、実施可能であり、また高出力のレーザーが必要である。

【0041】図 4 (b) は、焦点を段階的に調節しなおして、複数回の露光を行う方式を採用した場合の溝 9 の形態を示す。例えば、5 B、5 C、および 5 D で示すように、焦点を 3 回調節しなおして、露光を行ったものとする。この方式によれば、主面 1 b に対して略垂直な側面 9 a の深さを大きくすることができる。溝 9 によって肉薄部分 12 B が形成される。ただし、やはり底面 9 c の近傍の側面 9 b は、主面 1 b に対して略垂直な面に対して傾斜するので、肉薄部分 12 B の厚さは不均一になり易い。

【0042】図 4 (c) は、焦点の平面的位置を変更して複数回露光を行う方式を採用した場合の溝 10 の形態を示す。最初は、5 E のように広い範囲にわたって露光し、溝 10 の中央部分 10 c および周縁部分 10 a を形成する。ここで、10 a と 10 c との深さはほぼ同じであり、かつ 10 a および 10 c の深さは、図 4 (a) に示す溝 8 よりも小さいので、10 a の側面は、主面 1 b に対してほぼ垂直になる。次いで、中央部分 10 c に対して、再び露光 5 E を行い、中央部分 10 d を形成する。中央部分 10 d によって肉薄部分 12 C が形成されている。この方式によれば、溝 10 の中央部分 10 d の底面を平坦にすることができるので、12 C の厚さを一定に制御し易い。しかし、露光工程数が多くなり、また、基板の 10 a の部分も肉薄になるために、基板の強度が低下し易くなる。

【0043】図 5 は、図 4 (a) の方式によって形成した溝 8 の横断面の形態を示す光学顕微鏡写真である。図 6 は、図 4 (b) の方式によって形成した溝 9 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。図 7 は、図 4 (c) の方式によって形成した溝 10 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

#### 【0044】

【実施例】以下、更に具体的な実験結果を説明する。

(実施例 1) X カットした 3 インチウエハー (LiNbO<sub>3</sub>、単結晶) からなる基板の他方の主面 (裏面) 側を削り、ウエハーの厚さを 300  $\mu$ m とした。次いで、チタン拡散プロセスとフォトリソグラフィ法とによって、ウエハーの一方の主面に、図 1 に示すような形態の光導波路 2 および電極部分 3、4 を形成し、マッハツェンダー型の進行波形光変調器を作製した。ただし、本実施例 1 においては、ウエハー状の基板に加工を施している。

【0045】この主面にレジスト膜をコーティングし、エキシマレーザー加工機にセットし、基板のオリフラ面を基準にして、加工位置の位置合わせを行った。KrF エキシマレーザーを光源として使用し、スポットスキャン方式によって露光し、他方の主面側を加工した。照射したスポットのサイズが、走査方向 1.0 mm、幅 0.

2 mm となり、照射エネルギー密度が 6 J/cm<sup>2</sup> となるように光学系を調整した。パルス幅 15 nsec、パルス周波数 600 Hz、走査速度 0.1 mm/sec で、電圧印加部分の裏面側を加工し、溝 7 を形成した。

【0046】長さ 20 mm の溝を形成するのに要した時間は 200 秒であった。図 3 (b) において、作製した溝 7 の横断面の形状は台形であり、溝 7 の入口の幅 b は 100  $\mu$ m であり、深さ c は 290  $\mu$ m であり、底面の幅 a は 50 ~ 60  $\mu$ m であり、肉薄部分 12 の厚さ d は 10  $\mu$ m であった。こうして作製したウエハーをダイシングソー加工機で切断し、各進行波形光変調器に分割し、光導波路の端面を光学研磨した。

【0047】溝 7 を形成しなかった光変調器の光挿入損失は、1.55  $\mu$ m の波長で約 6 dB であり、溝 7 を形成した光変調器の光挿入損失は約 6 dB であった。また、溝 7 を形成しなかった光変調器について、3 dB 帯域幅を測定した結果、5 GHz であり、溝 7 を形成した光変調器の 3 dB 帯域幅は、15 GHz であった。さらに、溝 7 を形成しなかった光変調器について、半波長電圧を測定したところ 3.5 V であり、溝 7 を形成した光変調器の半波長電圧は、3.0 V であった。

【0048】(実施例 2) 実施例 1 と同様にして、マッハツェンダー型の進行波形光変調器を作製した。このウエハー形状の基板の主面に、レジスト膜をコーティングし、マイクログラインダー加工機にセットした。基板のオリフラ面を基準にして、加工位置の位置合わせを行った。砥石としては、レジシン系ボンドのダイヤモンド砥石であって、粗さが #5000 番の砥石を使用した。回転数を 3000 rpm とし、砥石の送り速度を 0.1 mm/秒とし、電圧印加部分の裏面側を加工し、溝 7 を形成した。

【0049】長さ 20 mm の溝を形成するのに要した時間は、約 5 分であった。図 3 (b) において、作製した溝 7 の横断面の形状は長方形であった。溝 7 の入口の幅 b は 80 ~ 100  $\mu$ m であり、深さ c は 295  $\mu$ m であり、底面の幅 a は 80 ~ 100  $\mu$ m であり、肉薄部分の厚さは 5  $\mu$ m であった。こうして作製したウエハーをダイシングソー加工機で切断し、各進行波形光変調器に分割し、光導波路の端面を光学研磨した。

【0050】溝 7 を形成しなかった光変調器の光挿入損失は、1.55  $\mu$ m の波長で約 6 dB であり、溝 7 を形成した光変調器の光挿入損失は約 6 dB であった。また、溝 7 を形成しなかった光変調器について、3 dB 帯域幅を測定した結果、5 GHz であり、溝 7 を形成した光変調器の 3 dB 帯域幅は、50 GHz であった。さらに、溝 7 を形成しなかった光変調器について、半波長電圧を測定したところ 3.5 V であり、溝 7 を形成した光変調器の半波長電圧は、2.6 V であった。

#### 【0051】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、相

対向する一対の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させることができる。また、進行波形光変調器において、高速変調を可能にするのと共に、こうした進行波形光変調器を、少ない工程数で製造できるようにし、高精度の位置合わせを不要とし、加工ダメージによる加工変質層の生成も防止することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) は、マッハツェンダー型の進行波形光変調器1を概略的に示す斜視図であり、(b) は、進行波形光変調器1を他方の主面1b側から見た斜視図である。

【図2】 (a) は、図1(b)の変調器をレーザーの照射によって加工している状態を概略的に示す斜視図であり、(b) は、この加工が進行した状態を示す斜視図である。

【図3】 (a) は、加工後の変調器8を示す斜視図であり、(b) は、溝7の周辺部分の横断面を示す断面図で

ある。

【図4】 (a) は、焦点固定方式を採用した場合の溝の形態を示す模式図であり、(b) は、焦点を段階的に調節しながら、複数回の露光を行う方式を採用した場合の溝9の形態を示す模式図であり、(c) は、焦点の平面的位置を変更して複数回露光を行う方式を採用した場合の溝10の形態を示す模式図である。

【図5】 図4(a)の方式によって形成した溝8の横断面の形態を示す光学顕微鏡写真である。

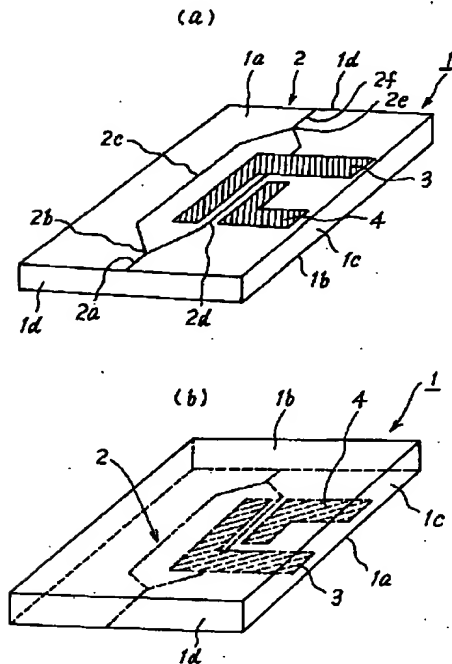
【図6】 図4(b)の方式によって形成した溝9を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

【図7】 図4(c)の方式によって形成した溝10を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

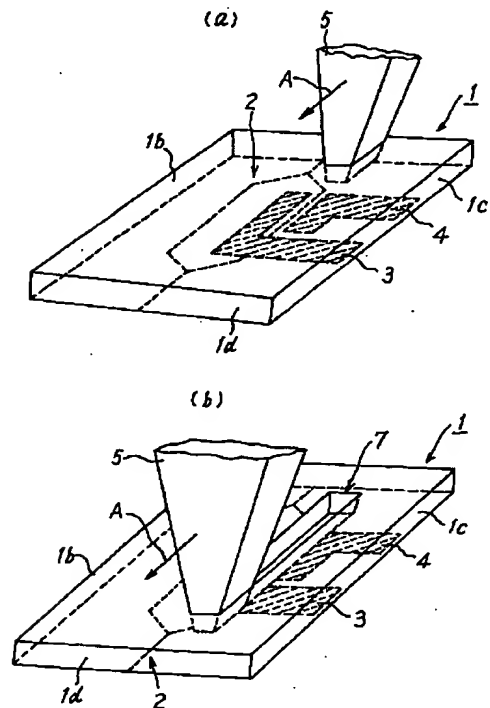
#### 【符号の説明】

1 加工前の進行波形光変調器 1a 一方の主面  
1b 他方の主面(裏面) 2 マッハツェンダー型の光導波路 3、4 一対の対向電極部分 5、5A、5B、5C、5D、5E レーザー 7、8、9 溝 12、12A、12B 肉薄部分

【図1】

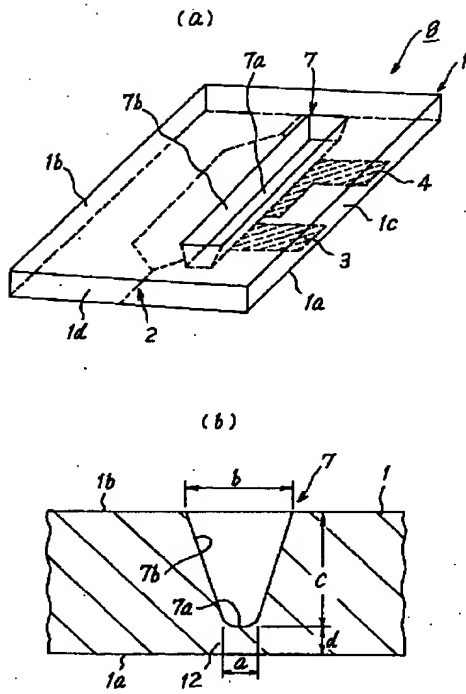


【図2】

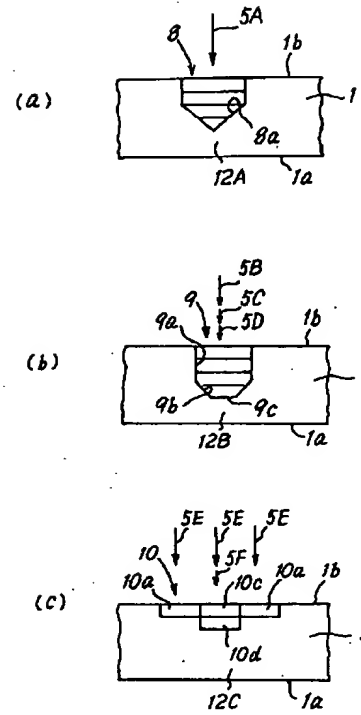




【図 3】



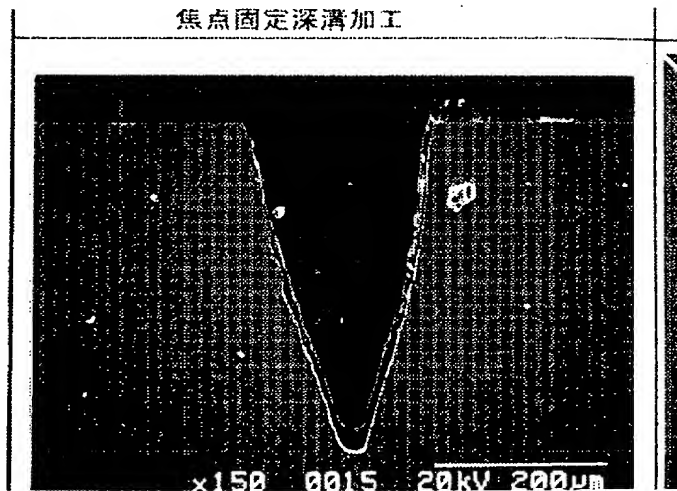
【図 4】



【図 5】

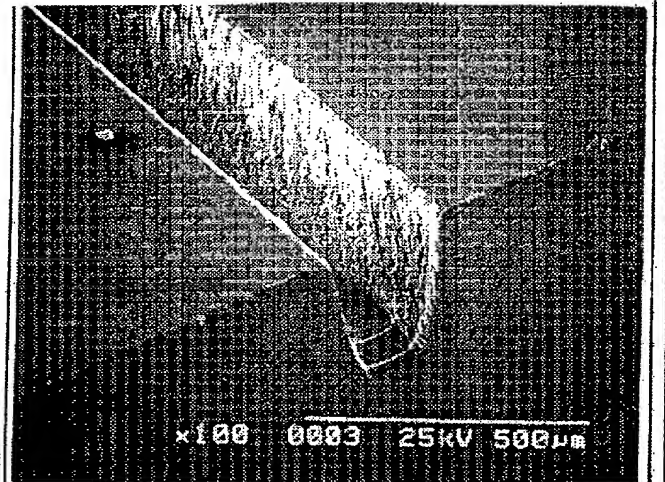
図面代用写真

焦点固定深溝加工



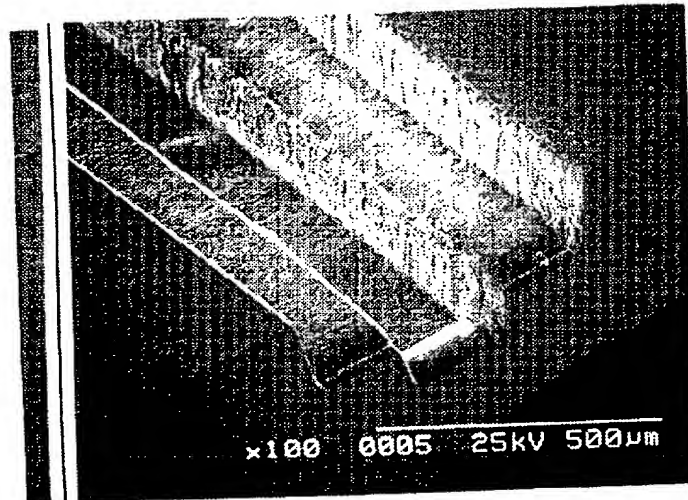
【図6】

図面代用写真



【図7】

図面代用写真



---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 賢治  
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日  
本碍子株式会社内